



FACULTAD DE INGENIERÍA

CARERA DE INGENIERIA CIVIL

“ESTUDIO DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN MACIZOS ROCOSOS FRACTURADOS QUE PRESENTAN MECANISMO DE FALLA EN ZONA DE EXPLOTACIÓN MINERA DE LA EMPRESA ANTAMINA. DRACÓN PERÚ SAC”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Hector Hugo Vasquez Estrella

Asesor:

Ing. Máximo Huambachano Martel

Lima - Perú

2018

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTO.....	2
TABLA DE CONTENIDOS.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	10
RESUMEN.....	11
ABSTRACT	12
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Realidad problemática	13
1.2. Formulación del problema	17
1.2.1 Problema general.....	17
1.2.2 Problemas específicos	17
1.3. Objetivos.....	18
1.3.1 Objetivo general	18
1.3.2 Objetivos específicos.....	18
1.4. Hipótesis	19
1.4.1 Hipótesis general	19
1.4.2 Hipótesis específicas	19
1.5 Marco teórico.....	19
1.5.1. Antecedentes de investigación	19
1.5.1.1 Antecedentes Internacionales.....	19
1.5.1.2 Antecedentes Nacionales	22
1.5.2. Marco teórico	27

1.5.2.1 Resistencia Del Macizo Rocoso	27
1.5.2.2 Fallas de Taludes	27
1.5.2.3 Falla por el Pie del Talud. Una superficie de falla	28
1.5.2.4 Estabilidad de Taludes.....	29
1.5.2.5 Recolección de datos geológicos.....	32
1.5.2.6 Análisis Cuantitativo	64
1.5.2.8 El sismo	77
1.5.2.8.1 Conceptos	77
1.5.2.8.2 Fallas.....	83
1.5.2.9 Propiedades Ingenieriles de las Rocas.....	87
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	92
2.1 Tipo de investigación.....	92
2.2 Materiales, instrumentos y métodos	92
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	95
2.4. Procedimiento.....	96
CAPÍTULO III. RESULTADOS	99
3.1. Resultados del objetivo específico 1.....	99
3.1.1 Aspectos Generales	100
3.1.2 Descripción Del Proyecto - Geología Regional	105
3.1.3 Aplicación de la sujeción de la malla Steel Grid.....	108
3.1.4 Pruebas de Pull test.....	111
3.1.5 Análisis Topográfico	114
3.1.6 Instalación de Pernos para Anclajes de Malla	117
3.1.7 Inyección de Mortero para pernos (Malla)	117
3.1.8 Fases del Levantamiento topográfico	122
3.2. Resultados del objetivo específico 2.....	124

3.3. Resultados del objetivo específico 3.....	133
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	157
4.1 Discusión	157
4.2 Conclusiones.....	163
REFERENCIAS	165
ANEXOS.....	170
Anexo N° 1. Taludes de explotación de minerales	171
Anexo N° 2 Servicio de suministro e instalación de malla de acero y perforación de anclajes en fase 5 norte Compañía Minera Antamina	172
Anexo N° 3. Fotos de los Ensayos Pull Test.....	174
Anexo N° 4 Informe mensual de seguridad – setiembre 2017	177
Anexo N° 5 Suministro e instalación de mallas de acero y perforación de anclajes.....	186

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Métodos numéricos para la estabilidad de taludes	65
Tabla 2. Valores de porosidad de diversos materiales.	91
Tabla 3 Unidades Lito estratigráficas y simbología	106
Tabla 4 Columna estratigráfica generalizada de la zona evaluada.....	107
Tabla 5 Resumen de avance de obra	127
Tabla 6 Resultados de las pruebas de arranque (PULL TEST).....	134
Tabla 7 Pernos Ensayados.....	138
Tabla 8 Resultados de los 14 ensayos así como la curva de desplazamiento.....	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zona Minera.....	16
Figura 2. Falla por el pie. Una superficie de deslizamiento	28
Figura 3. Planeamiento de la estabilidad de un talud	31
Figura 4. Proyección de igual ángulo.....	37
Figura 5. Bell dome of influence.....	38
Figura 6. Scanline.....	39
Figura 7. Ponderación de Terzagui	39
Figura 8. Guía sobre la altura y el ángulo del talud para casos normales.	41
Figura 9. Rol de las discontinuidades en el fallamiento de taludes.....	42
Figura 10. Propiedades geomecánicas de la masa rocosa	43
Figura 11. Deslizamiento debido a una carga gravitacional	44
Figura 12. Influencia de la presión de agua en la resistencia al corte	45
Figura 13. Efecto de la presión del agua en una grieta de tensión	46
Figura 14. Refuerzo para prevenir el deslizamiento.....	47
Figura 15. Condiciones generales de falla.....	49
Figura 16. Análisis bidimensional.....	50
Figura 17. Análisis bidimensional de tensiones	50
Figura 18. Resistencia al deslizamiento en las superficies perpendiculares al talud.....	51
Figura 19. Rumbo de la superficie de deslizamiento	52
Figura 20. Falla abarca el colapso de taludes	56
Figura 21. Deslizamiento de cuñas	62
Figura 22. Ejemplo de cálculo de deformaciones y tensiones aplicando métodos numéricos para en análisis de estabilidad de un tajo abierto (Lorig, L., 2008)	66
Figura 23. División de la geometría en una malla de elementos finitos.....	68

Figura 24. Cálculo de desplazamientos totales mediante el MEF utilizando el.....	68
Figura 25. Modelo de diferencias finitas mostrando la rotura para grandes deformaciones de un macizo rocoso homogéneo (Stead, D., et al., 2006).....	69
Figura 26. Esquema del análisis con elementos discretos de la rotura de un talud (Stead, D., et al., 2006)	71
Figura 27. Modelo de fracturas utilizando el Método de Elementos de Borde (Stead, D., et al., 2006)	72
Figura 28. Resultados de un modelo combinado de Elementos Finitos y Elementos	73
Figura 29. Generación del MRS a partir de la roca intacta y del sistema de fracturamiento (Sainsbury, B., et al., 2009).....	74
Figura 30. Bloques individuales formando un modelo bidimensional de Macizo Rocosu Sintético (Sainsbury, B., et al., 2009).....	74
Figura 31. Diagrama que muestra el tipo de modelo que se recomienda utilizar de acuerdo con la complejidad de los movimientos (Stead, D., et al., 2006).....	75
Figura 32. Dirección del deslizamiento y superficie de rotura crítica en un análisis de un tajo abierto en tres dimensiones (Yamagami, T. y Jiang, J.C., 1996)	76
Figura 33. Escala De Richter.....	79
Figura 34. Límites de Las Placas Litosféricas.....	82
Figura 35 Movimientos verticales.....	83
Figura 36. Teoría del Rebote Elástico. a) Concentración de esfuerzos en límites de las placas, b) Incremento de la deformación elástica, c) Falla de la roca (USGS, 1999).....	84
Figura 37. Notación para la descripción de la orientación de una falla (adaptado de kramer 1996).	85
Figura 38. Falla inversa.....	85
Figura 39. Falla normal.	86
Figura 40. Falla Transcurrente.	86

Figura 41. Tipos de rocas	90
Figura 42. Mapa geológico regional de las zonas evaluadas en general.	107
Figura 43. Perfil litológico del talud fase 5 Norte. Elaborado por Compañía Minera Antamina).....	114
Figura 44. Suministro e instalación de malla de acero.....	123
Figura 45. Graficas Del Ensayo PULL TEST.....	154

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Factor de seguridad	28
Ecuación 2. El factor de seguridad FS	29
Ecuación 3. Cohesión	43
Ecuación 4. Resistencia al corte	44
Ecuación 5. Influencia de la presión de agua en la resistencia al corte	45

RESUMEN

La presente tesis cumplió el objetivo de realizar el estudio de la estabilización de taludes que presentan mecanismos de falla en macizos rocosos fracturados en la zona de explotación minera de la empresa Antamina. La metodología seguida ha sido de tipo descriptivo – aplicada, se analizaron las principales teorías vinculadas a las estructuras planares se evidencian en el talud de una de las obras realizadas por la compañía minera. Para el acopio de información se emplearon fichas de tipo cuantitativo para tomar los resultados de las pruebas de arranque (Pull Test) y verificar la calidad de acero y capacidad de soporte de los pernos BAHE A6151-G752 D=25 mm L=3.00 mts. instalados en la Fase 5. Se mitigó y controló con el sistema de protección mallas, pernos de anclaje de esta manera se garantiza el desarrollo de los trabajos de manera segura y continua en la zona de operaciones tanto para el personal, equipos e infraestructura emplazada. Se concluyó el estudio de la siguiente manera: a) Como actividad principal del servicio, se instaló 19,060 m² de Malla Steel Grid, b) Se perforó e instaló 732 und de pernos helicoidales de 25 mm de diámetro por 3,0 m de largo, y, c) En el aspecto de Seguridad, Salud y Medio Ambiente, los índices de accidentabilidad es 0.

Palabras clave: Estabilización, Taludes, Falla, Macizos Rocosos Fracturados

ABSTRACT

This thesis fulfilled the objective of carrying out the study of the stabilization of slopes that present mechanisms of failure in rocky massifs fractured in the mining exploitation area of the company Antamina. The methodology followed has been descriptive - applied, the main theories linked to the planar structures were analyzed in the slope of one of the works carried out by the mining company. For the collection of information, quantitative cards were used to take the results of the pull tests and verify the steel quality and support capacity of the bolts BAHE A6151-G752 D = 25 mm L = 3.00 meters. installed in Phase 5. It was mitigated and controlled with the mesh protection system, anchor bolts in this way the development of the work is guaranteed in a safe and continuous way in the area of operations for both personnel, equipment and infrastructure. The study was concluded as follows: a) As a main service activity, 19,060 m² of Steel Grid Mesh was installed, b) 732 und of 25 mm diameter, 3.0 m long helicoidal bolts were drilled and installed, and, c) In the aspect of Safety, Health and Environment, the accident rate is 0.

Keywords: Stabilization, Slopes, Fault, Fractured Rock Massifs.

NOTA DE ACCESO

No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales.

REFERENCIAS

- Angamarca, F. (2011). *Modelación Numérica de Estabilidad de Taludes Controlados por la Presencia de Niveles de Despegue de Alta Plasticidad y Permeabilidad*. Loja, Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja.
- Ávila, R. (2017). *Análisis sísmico - dinámico en taludes para aseguramiento de estructuras de irrigación Sangallaya – Huarochirí – Región Lima 2017*. Lima: UCV.
- Ayala, R. (21 de Enero de 2015). *Estabilidad De Taludes En Rocas Y Suelos*. Obtenido de <https://es.scribd.com/presentation/289293558/Trabajo-Final-Ingenieria-Civil-Taludes-2015>
- Cordova, R. (5 de Mayo de 2017). Obtenido de https://docuri.com/download/cordova-rn_59c1d07bf581710b28645a74_pdf
- Grazón, J., Valencia, E., & Muñoz, J. (2012). *Evaluación de la Vulnerabilidad y consecuencias por deslizamiento en la conexión vial Aburra-Rio Cauca entre las abscisas Km 04+000 y 39+000*. Medellín: Universidad de Medellín.
- Lain, R. (21 de Enero de 2018). *Rotura plana*. Obtenido de http://oa.upm.es/14183/2/MECANICA_DE_ROCAS_2.pdf
- López, S. (21 de Enero de 2015). *Taludes*. Obtenido de https://www.academia.edu/9473962/estabilidad_de_taludes
- Melentijevic, S. (14 de Enero de 2015). *Estabilidad de Taludes en Macizos Rocosos con Criterios de Rotura no Lineales Y Leyes De Fluencia No Asociada*. Obtenido de <http://oa.upm.es/722/1/04200507.pdf>
- Menchanical, R. (12 de Abril de 2013). *Estabilidad de taludes*. Obtenido de https://www.academia.edu/9473962/estabilidad_de_taludes
- Mendoza, L. (25 de Enero de 2018). *Taludez*.

- Pérez, E. (2015). *Estabilidad de Taludes*. <https://deca.upc.edu/es/el-departamento/secciones/itcg/docencia/asignaturas/geolquat/ejercicios/P2/analisis-estabilidad>: Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica. Recuperado el 1 de Diciembre de 2018, de <https://deca.upc.edu/es/el-departamento/secciones/itcg/docencia/asignaturas/geolquat/ejercicios/P2/analisis-estabilidad>
- Pozo, R. (2011). *Aplicación del criterio de rotura no lineal de Hoek y Brown a la Estabilidad de Taludes Altos en Macizos Rocosos*. Lima: UNI.
- Pozo, R. (2014). *Análisis Numérico del Mecanismo de Falla en macizos rocosos fracturados considerando el efecto escala*. Lima: UNI.
- Pozo, R. (2014). *Análisis Numérico del Mecanismo de Falla en Macizos Rocosos Fracturados considerando el Efecto Escala*. Lima: UNI.
- Rodríguez Copare, J. (2013). *Evaluación de la estabilidad de taludes en la mina Lourdes Tacna*. Huancayo: UNAP.
- Saenz, A. (2017). *Análisis para Estabilidad de Taludes en roca utilizando mallas galvanizada ancladas, Ciudad Nueva FueraBamamba Apuarimac*. Huancayo: Tesis Universidad Nacional del Centro.
- Sanhueza, C., & Rodriguez, L. (14 de Setiembre de 2018). Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales. *Redalyc*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/html/1276/127628890003/>
- Sepulveda, A. (2011). *Comportamiento Sísmico de Taludes de Roca*. Madrid - España: Universidad Politécnica de Madrid.

Turpo, M. (21 de Enero de 2011). *Aplicaciones de la Topografía y Geodesia en la Minería*

Superficial - *Mina Marcona*. Obtenido de
file:///C:/Users/LUIS%202/Downloads/turpo_cm.pdf

OTRAS FUENTES CONSULTADAS.

1. Barton, N. y Choubey, V. The Shear Strength of Rock Joints in Theory and Practice. Rock Mechanics, 2018.
2. Beer, G. y Watson, J.O. Introduction to Finite and Boundary Element Methods for Engineers, 2012.
3. Call, R.D. Monitoring Pit Slope Behavior. SME Mine Engineering Handbook. AIME, New York, pp. 860-882, 2000.
4. Crouse, R., Huamán C., Zuta, J. Análisis de la Fábrica Estructural y Diseño de la Berma de Seguridad en Tajos Abiertos. VII Congreso Nacional de Minería, Trujillo, 2008.
5. Cundall, P. Recent Advanced in Numerical Modelling for Large-Scale Mining Projects. Australian Centre for Geomechanics Newsletter, USA, 2008.
6. Dawson, E.M., Roth, W.H. y Drescher, A. Slope Stability Analysis by Strength Reduction, Geotechnique, vol. 49, no. 6, pp. 835-840, 1999.
7. Deangeli, C. y Ferrero, A.M. Analisi di Stabilità del Litorali Lagunari in Condizioni Dinamiche, In: La Ricerca Scientifica per Venezia- Progetto Sistema Lagunare Veneziano, CNR – Modellistica del sistema Lagunare, Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, pp. 8, 2000, Vol. II, Pagine da 975 a 982, ISBN: 8886166826, 2000.
8. Duncan, J.M. State of the Art: Limit Equilibrium and Finite Element Analysis of Slopes. ASCE, pp 577-596, 1996.

9. Eberhardt, E., Stead, D. y Coggan, J.S. Numerical Analysis of Initiation and Progressive Failure in Natural Rock Slopes - the 1991 Randa Rockslide. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 41 (1), 69– 87, 2004.
10. Gill, R.C. A Quick Analysis Tool to Show Cost Savings in Pit Wall Angle Changes. *Slope Stability* 2009, Santiago, 2009.
11. Gonzales de Vallejo, L.I., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. *Ingeniería Geológica*. Prentice Hall, 2012.
12. Goodman, R.E., Taylor, R.L. y Brekke, T.L. A Model for the Mechanics of Jointed Rock. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, 637-659, 1968.
13. Goodman, R.E. *Introduction to Rock Mechanics*, 2nd Edition. Willey, New York, 1989.
14. Griffiths, D.V. y Lane, P.A. Slope Stability Analysis by Finite Elements. *Geotechnique* 49, N°3, pp 387-403, 2015.
15. Hammah, R.E., Curran, J.H., Yacoub, T.E. y Corkum, B. Stability Analysis of Rock Slopes using the Finite Element Method. In *Proceedings of the ISRM Regional Symposium EUROCK 2004 and the 53rd Geomechanics Colloquy*. Salzburg, Austria, 2004.
16. Hoek, E., Read, J., Karzulovic, A. y Chen, Z.Y. Rock slopes in Civil and Mining Engineering Published in *Proceedings of the International Conference on Geotechnical and Geological Engineering, GeoEng2000*, 19-24 November, Melbourne, 2000.
17. Hoek, E., Carranza-Torres, C.T. y Corkum, B. *Hoek-Brown Failure Criterion-2002 Edition*, 2012.

18. Hoek, E. Fundamentals of Slope Design. Slope Stability 2009, Santiago, 2009.
19. Hoek, E. y Bray, J.W. Rock Slope Engineering. Institution of Mining and Metallurgy, Londres, 1981.
20. Stead, D., Eberhardt, E. y Coggan, J.S. Developments in the Characterization of Complex Rock Slope Deformation and Failure Using Numerical Modelling Techniques, 2016.